

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**Hornicko-geologická fakulta**

**Institut environmentálního inženýrství**  
Studijní obor: Zpracování a zneškodňování odpadů



**VÝZKUM FLOKULAČNÍCH A DISPERGAČNÍCH ČINIDEL  
PŘI ÚPRAVĚ DŮLNÍCH VOD Z LOMŮ ČSA A J. ŠVERMA  
MOSTECKÉ UHELNÉ A.S.**

The research of flocculation and dispersion agents for the treatment of waste waters from the CSA and the J. Sverma (Mostecká Uhelna, corp. open-pit mines)

diplomová práce

**Autor:**  
**Vedoucí diplomové práce:**

Tibor Jakubašek  
prof. Ing. Peter Fečko, CSc.

**Most 2009**

## Zadání diplomové práce

Student: **Tibor Jakubašek**  
Studijní program: M2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů  
Téma: Výzkum flokulačních a dispergačních činidel při úpravě důlních vod z lomů ČSA a J. Šverma Mostecké uhelné a.s.  
The research of flocculation and dispersion agents for the treatment of waste waters from the CSA and the J. Sverma (Mostecká Uhelna, corp. open-pit mines)

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakteristika současného stavu
3. Podrobný popis technologie úpravy vod
4. Řešení výzkumu
5. Výsledky výzkumu
6. Vyhodnocení a diskuse výsledků
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

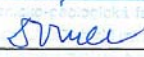
FEČKO, P.: Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů, VŠB – TU Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-921-2.  
KMEŤ, S: Flotácia, Alfa Bratislava, 1992, ISBN 80-05-00971-2.  
FEČKO, P.; PEČTOVÁ, I.; RIEDLOVÁ, S; POKORNÁ, E.: Selektivná flokulácia čiernouhelných kalov, VŠB-TU Ostrava, 2001.  
JURMAN, J.; VRBICKÝ, J.: Možnosti vzájemného porovnání rozpojitelosti při různých způsobech dispergace, VŠB-TU Ostrava, 1994.  
Provozní dokumentace

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Peter Fečko, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2008

Datum odevzdání: 30.04.2009

  
prof. Ing. Vojtech Dimer, CSc.  
vedoucí institutu

  
  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Veškeré grafické přílohy, laboratorní rozborů vzorků vod, technické a ekonomické údaje, uvedené v této práci, jsem použil se svolením jejich majitele, společnosti HUMECO, a.s.

**V Mostě dne 20. 4. 2009**

.....  
**Tibor Jakubašek**

## **Anotace**

Diplomová práce je zaměřena na stanovení základních charakteristik důlních vod, čerpaných v lomech ČSA a J. Šverma. Obsahuje informace o kvantitativních a kvalitativních charakteristikách látek, které znečišťují důlní vody. Následně popisuje předpokládané operace, které jsou schopny snížit koncentrace těchto látek tak, aby jejich obsahy vyhověly legislativou stanoveným limitům.

Jako klíčový úpravárenský proces je zvolena problematika čiření upravované důlní vody. Jsou zkoumány zejména rychlosti a účinnosti různých flokulačních a dispergačních činidel. Sledován je efekt těchto činidel na shlukování disperzních částic a jejich sedimentaci v důlních vodách upravovaných na Úpravně důlních vod ČSA-JŠ.

Současně je také ověřována možnost využití dispergačních činidel při odstraňování sedimentů ze stěn a dna vodních jímek a nádrží.

**Klíčová slova:** koagulace, flokulace, dispergační činidla, úprava důlní vody

## **Summary**

Thesis is focused to establish basic characteristics of mine wastewaters, pumped from the open-pits "ČSA" and "J. Šverma". There is collected information on qualitative and quantitative characteristics of the impurities, contained in these waters. Consequently, there are detail descriptions of the operations, having the potential to solve these concentrations in-line with the legislative limits.

There is water precipitation hold as key treatment process. The effects of different flocculation and dispersion compounds are studied. Especially the effect of these compounds on agglomeration of dispersed particles and their following sedimentation are studied on real samples of open-pit mine wastewaters from the process-treatment unit ČSA-JŠ.

The possible effects of these treatment compounds on wastewaters reservoirs cleaning are also studied.

**Keywords:** coagulation, flocculation, dispersion compounds, mine-wastewaters treatment

# OBSAH

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU.....</b>	<b>3</b>
2.1	CHARAKTERISTIKA DŮLNÍCH VOD .....	3
2.2	KONCENTRACE ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK V DŮLNÍCH VODÁCH.....	6
2.3	ZPŮSOBY SNÍŽENÍ OBSAHU ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK Z DŮLNÍCH VOD .....	9
2.3.1	<i>Oddělené nakládání s vodami uhelnými a povrchovými.....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Úprava vod povrchových, skryvkových a výsypkových .....</i>	<i>10</i>
2.3.3	<i>Úprava uhelných vod.....</i>	<i>11</i>
<b>3</b>	<b>PODROBNÝ POPIS TECHNOLOGIE ÚPRAVY VOD .....</b>	<b>12</b>
3.1	METODY ÚPRAVY DŮLNÍ VODY NA ÚDV .....	12
3.2	POPIS TECHNOLOGIE ÚPRAVY DŮLNÍ VODY .....	12
3.2.1	<i>Snížování NL .....</i>	<i>12</i>
3.2.2	<i>Úprava acidity (pH).....</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Snížení koncentrace železa .....</i>	<i>15</i>
3.2.4	<i>Snížení koncentrace manganu.....</i>	<i>16</i>
3.2.5	<i>Snížení koncentrace síranů.....</i>	<i>17</i>
<b>4</b>	<b>ŘEŠENÍ VÝZKUMU .....</b>	<b>19</b>
4.1	ŘEŠENÍ VÝZKUMU FLOKULANTŮ.....	19
4.1.1	<i>Problematika čiření vody.....</i>	<i>19</i>
4.1.2	<i>Stanovení metodiky zkoušek flokulačních činidel.....</i>	<i>21</i>
4.2	ŘEŠENÍ VÝZKUMU DISPERGAČNÍCH ČINIDEL .....	23
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY VÝZKUMU .....</b>	<b>26</b>
5.1	VÝZKUM FLOKULAČNÍCH ČINIDEL .....	26
5.1.1	<i>Výsledky zkoušky č. 1 – NL &gt; 40mg/l, Fe &lt; 3mg/l, Mn &lt; 1mg/l .....</i>	<i>27</i>
5.1.2	<i>Výsledky zkoušky č. 2 – Fe &gt; 3mg/l, NL &lt; 40mg/l, Mn &lt; 1mg/l .....</i>	<i>29</i>
5.1.3	<i>Výsledky zkoušky č. 3 – Fe &gt; 3mg/l, Mn &gt; 1 mg/l, NL &lt; 40mg/l .....</i>	<i>30</i>
5.1.4	<i>Výsledky zkoušky č. 4 – NL &gt; 40 mg/l, Fe &gt; 3 mg/l, Mn &gt; 1mg/l .....</i>	<i>31</i>
5.2	VÝZKUM DISPERGAČNÍCH ČINIDEL .....	32
<b>6</b>	<b>VYHODNOCENÍ A DISKUSE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>36</b>
6.1	DISKUSE K VÝZKUMU FLOKULANTŮ.....	36
6.2	DISKUSE K VÝZKUMU DISPERGAČNÍHO ČINIDLA .....	38
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>40</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>43</b>

## Seznam použitých zkratek

<b>ÚDV</b>	Úpravna důlních vod lomů Československé armády a Jan Šverma
<b>lom ČSA</b>	Lom Československé armády
<b>lom JŠ</b>	Lom Jan Šverma
<b>ČS</b>	Čerpací stanice vod
<b>VD</b>	Vodní dílo nebo vodohospodářské dílo



## 1 Úvod

Severočeské hnědouhelné lomy jsou podúrovňová důlní díla. Vlastní lom tak tvoří v morfologii krajiny velkou depresi. Z hydrologického hlediska to znamená, že do lomu stékají nejen povrchové vody, ale je zde i značný průnik podpovrchových mělkých vod.

Množství a intenzita přítoku vod do lomu souvisí s geomorfologií oblasti, kde je prováděna těžba. Geologické složení nadložních vrstev a zejména v místech výchozu uhelné sloje jsou rozhodující pro vytváření podzemních vodních kolektorů a komunikaci vody do lomu.

Zvláště markantní je uvedené u lomu ČSA, který dobývá uhelnou sloj vyvělenou na přilehlé strmé svahy Krušných hor. Zde je situace složitá po geomechanické stránce (stabilita svahů lomu), ale i hydrologické. Lom ČSA tvoří morfologickou depresi s rozsáhlým povodím. Přítok vody do lomových prostor je značný a navíc časově velmi rychlý po dešťových srážkách. Kvartérní pokryv při výchozu sloje, tvořený propustnými horninami, způsobuje vodní dotaci do podzemních kolektorů a i uhelné sloje, značně přerubané dřívější hlubinnou činností. Z uvedeného je zřejmé, že přítok vody povrchové i podzemní do lomu ČSA je značný.

Na lomu J. Šverma jsou rozsáhlé meziložní a podložní písčité vrstvy zvodněné dotacemi z oblasti Krušných hor.

Stabilita svahů je pro úspěšné báňské dobývání rozhodující. Na stabilitu svahů má krom samotné geologické struktury rozhodující vliv voda. Poznání hydrogeologie oblasti a efektivní odvodňování lomu a jeho předpolí je tak základní podmínkou pro těžbu na hnědouhelných lomech J. Šverma a ČSA.

Dnes již nestačí důlní vody podchytit a odvést či odčerpát do vodotečí. Emise znečišťujících látek ve vypouštěných důlních vodách musí splňovat zákonné limity. Dnes proto nepostačuje dosáhnout odvodnění důlního díla, ale zajistit i nezávadnost vypouštěné důlní vody na životní prostředí.



Environmentální hledisko je zohledněno i v platné legislativě. Jsou stanoveny kvalitativní hodnoty pro vypouštění důlních vod do veřejných vodotečí.

Většinu důlních vod, zejména vody z uhelného lomu, nelze bez úpravy přímo vypouštět do vodotečí. Je nezbytné provést jejich úpravu a snížení znečišťujících látek na požadované koncentrace, dané stanovenými emisními limity v rozhodnutí vodoprávního orgánu.

Důlní vody svým složením jsou velmi různorodé. Obsahují nerozpustné látky anorganického i organického původu. V závislosti na horninovém prostředí, s kterým přicházejí do styku, obsahují i nadlimitní koncentrace rozpustných látek.

Úpravou důlních vod snižujeme obsah nerozpustných látek. Z rozpustných látek se při procesu jejich redukce v důlních vodách jedná o snížení koncentrací železa a manganu. Dvojmocná rozpustná forma se oxidací při úpravě převádí na nerozpustnou.

Nerozpustné jílové částice (montmorillonit, kaolinit a ilit) jsou jemně rozptýleny ve vodě ve formě koloidu. Obdobně je tomu u vzniklých trojmocných částic železa a manganu. Vysrážet a sedimentovat tyto disperzní částice z upravované vody je důležitou technologickou operací při úpravě vody v sedimentačních nádržích.

Jedním z cílů diplomové práce je výzkum flokulačních činidel při shlukování a následném vysrážení (sedimentaci) disperzních látek z upravované vody.

V souvislosti s procesem vysrážení koloidních částic, jejich sedimentací a následným odtahem kalů a jeho odvodněním, vzniká další provozní problém. Jedná se o nezbytnost po určité době provést vyčištění sedimentačních nádrží a technologického zařízení od nalepených ulpělých kalů na dně a stěnách nádrží a zařízení (zahušťovací nádrže, plachetky kalolisů). Dalším z cílů diplomové práce je tak ověřit možnosti použití dispergačních činidel při odstraňování nálepů kalů z nádrží a technologie.





## 2 Charakteristika současného stavu

### 2.1 Charakteristika důlních vod

Znalost zdrojů důlní vody a výčet znečišťujících látek včetně jejich koncentrací v jednotlivých vodách, jsou důležité pro stanovení postupu nakládání s důlními vodami. Nakládání s důlními vodami znamená nejen její čerpání a odvodňování lomových prostor, ale hlavně úpravu důlní vody na legislativní požadavky před jejím vypuštěním do vodoteče.

Platnou legislativou pro nakládání s důlními vodami je z oblasti životního prostředí Vodní zákon a z oblasti báňské potom Horní zákon.

Horní zákon č. 44/1988 Sb. ve znění pozdějších doplňků a úprav, v paragrafu 40 odstavci 1, označuje důlními vodami:

*„Důlními vodami jsou všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů bez ohledu na to, zda se tak stalo průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku nebo prostým vtékáním srážkové vody, a to až do jejich spojení s jinými povrchovými nebo podzemními vodami“.*

Horní zákon je zaměřen zejména na zajištění bezpečnosti báňského provozu. Vodní zákon upřednostňuje vazbu na ochranu vod a životního prostředí.

Odlíšné zaměření obou zákonů, při jejich současné platnosti, proto vyžaduje důkladnou znalost platné legislativy, aby mohlo být zajištěno efektivní a bezpečné odvodňování lomu a přitom zajištěna ochrana vod ve vodoteči, do níž je důlní voda vypouštěna, jakož i ochráněny další složky životního prostředí.

Legislativa je proto značnou měrou určující nejen pro stanovení technologie snižování koncentrací znečišťujících látek (volbu úpravárenské technologie), ale i pro tvorbu a provoz odvodňovacího systému lomu. Správnými orgány stanovená místa vypouštění důlních vod totiž podmiňují řešení odvodňovacího systému – spádování odvodňovacích příkopů, rozmístění čerpacích stanic a lokalizaci úpravný znečištěných důlních vod.



### **Znečišťující látky v důlních vodách, jejich původ**

Z objemového hlediska jsou rozhodující znečišťující látkou *tuhé nerozpuštěné látky*. Jedná se o příměsi, které se do vody dostávají z okolí proudící vody. Jejich složení odpovídá proto petrografickému, mineralogickému a pedologickému charakteru hornin a půdy. Z pohledu snižování koncentrace nerozpustných látek v důlních vodách je důležité zrnitostní složení.

Významné znečištění důlních vod spočívá v *rozpuštěných látkách*. Důležitost spočívá v jejich negativním působení na vodní prostředí, do něž jsou důlní vody odváděny či vypouštěny. Snížení koncentrací těchto látek na povolenou hranici je nezbytností pro nakládání s důlní vodou tj. technologickou úpravou zajistit dodržení legislativních limitů.

### ***Nerozpuštěné látky v důlních vodách***

Nerozpuštěné látky v důlních vodách lomu ČSA mají charakter drobných klastických úlomků šterku, písků a písčitých jíílů, jíílů a organických látek (listí, úlomky větví, apod.)

Nerozpuštěné látky přes svůj značný obsah v důlních vodách jsou však snáze a s menšími náklady odstranitelné oproti látkám rozpuštěným. Většinou postačí prostá gravitační sedimentace. Podmínkou je dostatečný prostor pro sedimentaci a doba zdržení (snížení průtoku).

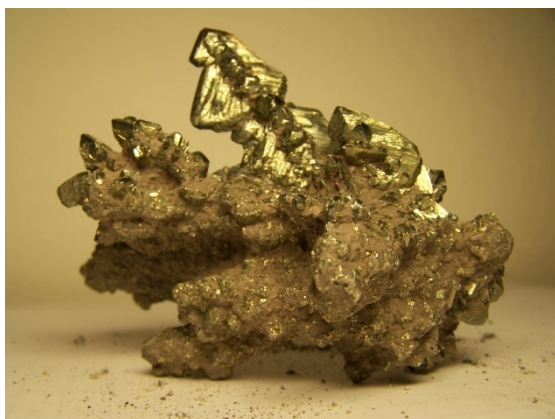
### ***Rozpuštěné látky v důlních vodách***

Rozpuštěné látky obsažené v důlní vodě jsou poplatné jednak chemizmu horninového prostředí, s kterým vody přicházejí do styku a dále hlavně na schopnosti uvolňovat ionty do vodního prostředí.

Krystalinikum Krušných hor ani miocénní sedimenty nejsou rozhodující pro mineralizaci důlních vod. Pro *mineralizaci je nejvýznamnější uhelné souvrství*.

Koncentrace iontů obsažených ve vodě závisí nejen na konkrétním složení uhelné sloje v daném místě (zejména obsah popela –  $A^d$  je do značné míry určujícím vodítkem), ale i na dalších faktorech. Jedná se zejména o době styku vody s uhelnou slojí a teplotě.

Podstatným činitelem je výskyt a rozmístění síry v uhelné sloji. Nárůst obsahu  $S^d$  v uhelné sloji je podmíněn především mineralizací uhlí  $FeS_2$ , který je součástí sekundárních popelovin. Síra vyskytuje jak jemně rozptýlena, tak i ve shlucích a krystalické formě a konkrécích pyritu (běžně se vyskytují ve výchozových partiích sloje). Příklad poskytují následující obrázky.



Obr. 1 Pyrit v uhlí lomu ČSA



Obr. 2 Konkrece  $FeS_2$

Infiltrační oblast na lomu ČSA je rozsáhlá a navíc strmé svahy Krušných hor významně dotují podzemní kolektory, komunikující s uhelnou slojí.

Ukázka rozlehlosti povodí lomu se svahy Krušných hor je patrná z vedlejšího obrázku.



Obr. 3 Svah lomu s Krušnými horami

Na lomu Jan Šverma (dále jen lom JŠ) je hydrologická dotace vody do uhelného souvrství podstatně nižší. Odrazem je i nižší mineralizace vody z uhelného lomu.

Z prováděných rozborů chemizmu důlních vod vychází na lomu JŠ průměrná mineralizace 530 mg/l a průměrné pH 7,49.

Vysoký obsah síranů a železa je důsledkem oxidačních procesů v otevřeném lomovém provozu.

## 2.2 Koncentrace znečišťujících látek v důlních vodách

Koncentrace znečišťujících látek je v čerpaných důlních vodách značně variabilní. Původ vod (skrývkové, povrchové z předpolí, uhelné, podpovrchové z vrtů, apod.) a taky doba styku vody s horninovým prostředím, jsou rozhodující pro výskyt a koncentraci znečišťující látky.

Jak rozličné jsou důlní vody v jednotlivých oblastech lomů ČSA a JŠ, názorně ilustruje následující tabulka.

Tabulka 1 Koncentrace znečišťujících látek na vodních dílech lomů ČSA a JŠ

Odběrné místo		pH	NL [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	RL [mg/l]	Datum odběru
		Zákonný limit v mg/l pro důlní vody						
		6-9	40	-	3	1	-	
Uhelný lom ČSA	HČS-ČSA	6,48	250	1166	5,96	0,32	2303	14.06.08
	PČS 2-ČSA	6,71	53	1240	5,72	3,10	2404	14.06.08
Předpolí ČSA	ČS Kunderatice	6,97	8	255	0,12	0,21	245	21.10.08
	ČS „C“	6,52	7	101	0,13	0,09	248	21.10.08
	RN Hedvika	6,68	4	444	0,10	0,19	290	10.04.08
Skrývkové řezy ČSA	ČS Eliška	8,04	11	597	0,12	0,37	840	21.05.08
	ČS K-28	6,62	27	982	2,30	1,30	2049	14.03.08
	ČS Černice	8,30	23	448	0,23	0,12	721	25.02.08
Uhelný lom JŠ	HČS-JŠ	6,62	27	501	0,87	0,21	905	18.04.08
	PČS-JŠ	7,67	38	287	1,83	0,36	602	20.11.08
Skrývka JŠ	ČS K92	8,26	3	768	0,25	0,82	1588	21.04.08

Zde je nutno připomenout, že obsah nerozpustných látek je ve výše uváděných čerpacích místech již redukován. Snahou organizace, zajišťující odvodňování lomů i samotného báňského provozu, je systémem odvodňovacích příkopů a sedimentačních jímek snižovat obsah nerozpuštěných látek ve vodách přiváděných na čerpací místa. Zvyšuje se tak účinnost a životnost čerpací techniky a i náklady na odstraňování kalu ze dna jímek.

Výčet znečišťujících látek je uveden s ohledem na složení důlní vody a legislativních požadavků pro vypouštění důlních vod do vodotečí.



V nařízení vlády č. 61/2003 Sb. jsou v tabulce 2 přílohy č. 1 závazně stanoveny tyto znečišťující látky:

- **nerozpustné látky, železo, mangan, polyaromatické uhlovodíky (PAU) a acidita (pH).**

Legislativa však rovněž zmocňuje správní orgán, stanovit s ohledem na charakter vod a stav vodního toku i další látky. V našem případě přichází v úvahu obsah síranových iontů. Proto v další textaci je zmiňována i tato znečišťující látka.

Jak již bylo zmíněno, nejvíce znečištěny jsou důlní vody z uhelného lomu. Proto tyto vody jsou čerpány na úpravnu důlních vod, kde jsou technologicky upravovány na hodnoty přípustné pro jejich následné vypuštění do řeky Bíliny.

Na úpravnu důlních vod, dále jen ÚDV, jsou čerpány vody ze dna lomů výtlačným potrubím z hlavních čerpacích stanic. Rozložení a situování vodohospodářských děl je patrné z přílohy č. 1.

V návaznosti na platnou legislativu pro vypouštění důlních vod a z provedených analýz, sledování a rozborů odebraných vzorků důlních vod vyplývají požadavky na použití technologických postupů a metod pro úpravu vody. Jedná se potřebu technologicky řešit:

- nerozpustné látky
- koncentrace železa
- koncentrace manganu

Koncentrace síranových iontů nebyly úřadem, v rozhodnutí stanoveny. Koncentrace PAU v důlních vodách JŠ a ČSA je pod mezí detekce. Proto správní orgán požaduje kontrolní analýzu vzorků jen 2krát za rok.



Koncentrace znečišťujících látek ve vodách čerpaných na ÚDV uvádí následující tabulky:

*Tabulka 2 Koncentrace znečišťujících látek ve vodách z lomu ČSA v roce 2008*

Měsíc	pH	NL	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe	Mn	Objem
		mg/l				m <sup>3</sup>
Leden	6,02	68	983	0,47	0,79	96 376
Únor	6,52	49	1059	0,38	1,42	202 523
Březen	6,41	371	838	0,39	0,86	133 556
Duben	5,92	36	998	0,51	0,61	92 192
Květen	6,15	46	1000	0,76	0,41	102 254
Červen	5,71	53	1240	5,72	3,10	68 572
Červenec	6,52	20	895	0,72	0,32	67 080
Srpen	6,69	23	840	0,64	0,50	51 973
Září	6,37	36	955	0,66	0,67	60 505
Říjen	5,98	58	1054	3,06	2,21	69 196
Listopad	6,64	84	1573	5,19	0,93	84 300
Prosinec	6,69	15	936	1,05	1,05	86 059
<b>Průměrné znečištění</b>	<b>6,30</b>	<b>72</b>	<b>1031</b>	<b>1,63</b>	<b>1,07</b>	-
<b>Roční objem</b>	-					<b>1 114 586</b>

*Tabulka 3 Koncentrace znečišťujících látek ve vodách z lomu JŠ v roce 2008*

Měsíc	pH	NL	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe	Mn	Objem
		mg/l				m <sup>3</sup>
Leden	6,93	13	489	0,43	0,20	173 802
Únor	7,31	27	211	0,29	0,52	107 874
Březen	7,71	45	589	0,55	1,18	105 466
Duben	6,98	6	497	0,21	0,16	108 720
Květen	7,91	25	451	0,60	0,38	125 891
Červen	7,80	23	481	0,40	0,54	138 762
Červenec	8,06	15	513	0,44	0,60	123 637
Srpen	6,90	10	449	0,19	0,57	141 753
Září	7,28	17	989	0,22	0,33	84 760
Říjen	7,99	38	497	0,74	0,80	99 135
Listopad	7,22	20	579	0,92	0,56	145 452
Prosinec	7,81	3	596	0,43	0,46	117 970
<b>Průměrné znečištění</b>	<b>7,49</b>	<b>20</b>	<b>528</b>	<b>0,45</b>	<b>0,53</b>	-
<b>Roční objem</b>	-					<b>1 473 222</b>

Tyto znečištěné „uhelné“ vody jsou odčerpávány na Úpravnu důlních vod ČSA-JŠ. Způsob úpravy a použitá technologie jsou osvětleny v následujících kapitolách.



## 2.3 Způsoby snížení obsahu znečišťujících látek z důlních vod

### 2.3.1 Oddělené nakládání s vodami uhelnými a povrchovými

V předchozím byly, podrobně charakterizovány důlní vody a jejich chemizmus. Z uvedeného vyplynula značná rozmanitost a stupeň mineralizace důlních vod i v rámci jednoho dobývacího prostoru. Navíc kvalitativní i kvantitativní variabilitu výrazně zvyšují klimatické a geomorfologické vlivy.

Při prudkých a přívalemých deštích velké povodí svahů Krušných hor přivede do lomu velký objem povrchových vod. Časový styk s horninovým prostředím je malý a tak mineralizace těchto důlních vod je podstatně nižší, než je obvyklé. Na druhé straně velké proudění vody strhává z okolí klastika, písky, jíl a zeminu. Obsah nerozpustných látek tak výrazně narůstá.

Naopak v době dlouhodobého sucha se zvyšuje podíl podzemních vod proniklých do důlních prostor. Celkově potom jsou vody čerpané na ÚDV v tomto čase silně mineralizovány a mají nízký podíl nerozpustných látek.

Pro převažující objem vod je však rozhodující původ vody. Povrchové vody z předpolí a vrtů a ze skrývkových a výsypkových řezů obsahují velmi malou mineralizaci a prakticky splňují podmínky legislativy pro přímé vypouštění do vodotečí. Vody, které prošly výchozem sloje a vody z uhelného lomu mají koncentrace látek v nepřijatelných hodnotách a je nezbytné provést jejich úpravu.

Je proto velice důležité pro úpravu důlních vod, oddělit jednotlivé vody. Jejich oddělené čerpání a nakládání s nimi je nezbytné pro správnou volbu technologie úpravy důlní vody a tím i ekonomických nákladů s tím spojených.

Z pohledu následné úpravy vody se proto oddělují:

- vody z předpolí lomu, odvodňovacích vrtů nezasahujících uhelnou sloj a vody skrývkové a výsypkové
- vody z uhelné sloje a vody protékající zbytky sloje na vyuhlených a obnažených bočních svazích lomu



### 2.3.2 Úprava vod povrchových, skrývkových a výsypkových

Hlavní znečišťující látkou, která překračuje emisní limit pro důlní vody, jsou u vod povrchových, skrývkových a výsypkových (dále jen pro všechny tyto vody označení - povrchové vody) nerozpustné látky. Hodnoty koncentrací silně kolísají v závislosti na dešťových srážkách, spádu odvodňovacích příkopů a horninami, jimiž tečou.

Povrchové vody jsou pomocí záchytných příkopů sváděny do čerpacích stanic umístěných mimo prostor lomu. Situace odvodňovacích příkopů, čerpacích stanic a dalších vodních děl provozovaných společností HUMECO, a.s. v široké oblasti lomů ČSA a JŠ je postižena v dříve uvedené příloze č. 1 (Schéma odvodňovacích zařízení).

Na následujících obrázcích jsou na ukázkou příkop a čerpací stanice.



Obr. 4 Koryto Vesnického potoka



Obr. 5 ČS Kudratice

**Snížení koncentrací** nerozpuštěných látek v podchycených povrchových vodách spočívá v **gravitační sedimentaci**.

Každá čerpací stanice povrchových vod má proto jednu až dvě sedimentační jímky. V nich dochází k snížení rychlosti proudění a tím sedimentaci části nerozpuštěných látek (dále jen NL) ke dnu nádrže. Rozměry a objem sedimentačních jímek je důležitým prvkem. Řídí se nejen koncentrací NL a průtokem, ale i charakterem unášeného materiálu.



### 2.3.3 Úprava uhelných vod

Uhelné vody obsahují nejen zmiňované nerozpuštěné látky, ale i celou škálu rozpuštěných látek. Charakter vody je patrný již pohledem na zbarvení vody. Dokumentem může být příkop podél uhelné sloje, jak je zobrazeno na spodním obr. 6. Provedení odvodňovacích příkopů v uhelném lomu znázorňuje obr. 7.



Obr. 6 Voda v uhelném příkopu



Obr. 7 Tvorba odvodňovacího příkopu

Ve vztahu k legislativě a hodnotám koncentrací důlní vody, je úpravou sledováno snížení těchto znečišťujících látek:

- **nerozpuštěné látky, pH, železo, mangan a sírany.**

Pro snížení koncentrací těchto látek (s výjimkou NL), je již nezbytné použít specializovanou úpravářenskou technologii s odborným řízením celého procesu. Z uvedených důvodů jsou uhelné vody čerpány na centrální Úpravnu důlních vod ČSA-JŠ (dále jen ÚDV).

Koncentrace síranových iontů nebyly úřadem v rozhodnutí stanoveny.

Způsob úpravy a použitá technologie jsou osvětleny v následující kapitole.



### 3 Podrobný popis technologie úpravy vod

Na úpravně důlních vod jsou přivedené vody z lomů ČSA a JŠ upravovány na zákonem stanovené ukazatele znečištění a koncentrační limity.

Popis technologie a metod úpravy jednotlivých znečišťujících látek je na ÚDV následující. Schéma technologie na ÚDV je znázorněno v příloze č. 2.

#### 3.1 Metody úpravy důlní vody na ÚDV

Acidita důlní vody je upravována na požadovanou hodnotu pH 6 až 9 alkalizací pomocí roztoku vápenného hydrátu.

Rozpusťné dvojmocné formy železa a manganu jsou oxidací převáděny na trojmocnou nerozpustnou formu.

Veškeré nerozpustné látky (jílové minerály, uhelný prach, vysrážené částice  $\text{Fe}^{+++}$  a  $\text{Mn}^{+++}$ ) jsou odstraňovány gravitační sedimentací s následným zahuštěním a filtrací.

Podrobný postup a užitá technologie je popsána v následující podkapitole.

#### 3.2 Popis technologie úpravy důlní vody

##### 3.2.1 Snižování NL

Provádí se sedimentací v jímkách po celé trase proudění a čerpání uhelných vod (pomocné čerpací stanice a hlavní ČS na dně lomu).

Závěrečná fáze gravitační sedimentace NL již probíhá přímo na ÚDV. V prvním stupni jde o sedimentaci v tzv. kalových polích. Do těchto nádrží je čerpána voda z lomu. Zde nastává postupná sedimentace kalu ve třech kaskádových polích s přelivem vody do další nádrže. Pohled na kalová pole a jejich uspořádání je patrný z obrázků 8 a 9.



Obr. 8 Propojení kalových polí



Obr. 9 Kalová pole na ÚDV

Z kalových polí je voda převáděna do vyrovnávacích nádrží. Jedná se o dvě souběžné objemné nádrže, protékané podélně. Objem menší je 50.000 m<sup>3</sup> a druhé větší o objemu 100.000 m<sup>3</sup>. Sklon dna je od nátoky směrem k odběrnému místu na druhé straně nádrže. Snížení rychlosti proudění spolu se zdržením vody v nádrži znamená další sedimentaci nerozpustných látek.

Představu o velikosti nádrží a jejich provedení dávají následující obrázky.



Obr. 10 Vyrovnávací nádrže ÚDV



Obr. 11 Odběrný objekt vyrovnávací nádrže

Drobné částice (koloidní) nestačí sedimentovat ani při druhém stupni v rozsáhlých vyrovnávacích nádržích a proto jsou z vody vysráženy flokulantem spolu s Fe a Mn v sedimentačních nádržích. Kal je odsud přečerpán k zahuštění a následnému odvodnění. Blíže bude tato technologie popsána u problematiky snižování železa.

Stávající technologií při správném jejím provozování a disciplíny především s nakládáním s vodami v lomu, lze jednoznačně dodržet požadavky na vypouštěné NL.

### 3.2.2 Úprava acidity (pH)

Uhelné vody z lomu (zejména ČSA) jsou acidní. Acidita se pohybuje v současné době v rozmezí pH 5,5 až 6,5. K výraznému snížení acidity oproti minulosti došlo vlivem odstoupení báňských řezů od výchozových partií. Nejnižší hodnoty pH mají totiž vody při styku se spodní lávkou uhlí a z výchozových partií.

Snižování acidity je prováděno reakcí s vápenným hydrátem. Dávkování vápenné suspenze je řízeno podle koncentrace vstupního znečištění, řídicí systém umožňuje nastavení pH v aeračních nádržích v rozmezí hodnot 7 až 12.

Pohled na míchací nádrže a zásobníky vápna dávají následující obrázky.



Obr.12 Míchací nádrže vápna



Obr. 13 Zásobníky vápna

Řídicí systém ÚDV řídí dávkování vápenné suspenze nejen na základě údajů na vstupu, ale vyhodnocuje hodnoty pH ve výstupní vodě a dle toho koriguje dávkování v součinnosti s momentálním průtokem.

Dodržení pH na výstupu ve stanoveném rozmezí 6 až 9 je tak spolehlivě zajištěno.



### 3.2.3 Snížení koncentrace železa

Železo je ve vodě obsaženo jak v dvojmocné rozpustné formě tak trojmocné nerozpustné formě. Podíl jednotlivých forem závisí na aciditě či alkalitě vody. Vzhledem k tomu, že uhelná voda je acidní, tak je většina železa v rozpustné formě. Snížení koncentrace Fe proto spočívá v převodu  $\text{Fe}^{++}$  na nerozpustné  $\text{Fe}^{+++}$  a jeho sedimentaci.

Převod na nerozpustnou formu se provádí oxidací. Pro zajištění rovnoměrné a účinné oxidace vody je v aeračních nádržích ÚDV instalována tzv. jemnobublinná aerace.

Pro účinnější vyvločkování sraženiny a její sedimentaci je před sedimentačními nádržemi dávkován flokulant. Dávkování flokulantu je řízeno v závislosti na obsahu železa a nerozpustných látek v upravované vodě a jejich hodnotách na výpusti z ÚDV.

Pohled na aerační nádrž a flokulační stanici je na následujících obrázcích.



Obr.14 Aerační nádrž



Obr. 15 Flokulační stanice

Sedimentované NL spolu s vyvločkovánými sraženinami Fe a Mn jsou staženy ze dna sedimentační nádrže do kalových studní a odtud jsou přečerpány do zahušťovací nádoby. Zde dochází k odvodnění kalu. Voda ze zahušťovací nádrže se vrací a kal je čerpán do kalosisů k dalšímu odvodnění.

Vylisovaný kal je z kalolisů dopraven na vlečku a vlakovou dopravou převezen na skládku kalů.

Pohled na kalolisy a zahušťovací nádobu je na následujících snímcích.



Obr. 16 Kalolis



Obr. 17 Zahušťovací nádrž

### 3.2.4 Snížení koncentrace manganu

Z chemického pohledu je situace u manganu v podstatě obdobná jako u železa. Rozdíl však spočívá v tom, že pro oxidaci manganu na trojmocnou nerozpustnou formu již nepostačuje vzdušný kyslík. Je nezbytné zajistit silnější oxidační činidlo. Na ÚDV je oxidace prováděna dávkováním manganistanu draselného. Pro úspěšnou oxidační reakci je nutné splnit další podmínku. Tou je reakční prostředí s aciditou o hodnotě nejméně  $\text{pH} = 9$  (u Fe postačuje dle koncentrací  $\text{pH}$  7 až 8). Pro nižší teploty vody a urychlení reakce je technicky nutné však docílit  $\text{pH}$  k hodnotě 12.

Z naznačeného vyplývá, že proces není říditelný ručně jen na základě orientačních občasných vzorků. Je proto zavedeno řízení procesu pomocí nastaveného počítačového programu. Pohled na dávkovací stanici manganistanu draselného a na automatickou stanici pro odběr a rozbor vzorků je na snímcích číslo 18 a 19.

Obr. 18 Dávkování  $\text{KMnO}_4$ 

Obr. 19 Automatický odběr vzorků

Řídicím systémem odebrané vzorky jsou následně podrobeny rozboru v kontinuálním analyzátoru. Obsluha technologie ÚDV má možnost na základě svého pokynu řídicímu technologickému počítači, provést další operativní odběry vzorků a jejich analýzy. Pohled na analyzátory Fe a Mn uvádí následující obrázky.



Obr. 20 Analyzátory Fe a Mn



Obr. 21 Vnitřní pohled na analyzátor Mn

### 3.2.5 Snížení koncentrace síranů

Stávající legislativa nestanovuje emisní standardy síranů pro vypouštění důlních vod. Oproti dřívějším legislativním požadavkům (obsaženým i v rozhodnutích), nyní předpisy dávají volnost vodoprávnímu úřadu, zda stanoví emisní limit na síranové ionty a v jaké výši, nebo nebude limit vůbec stanoven.

Ve stávajícím platném rozhodnutí limit pro sírany ani jiné omezení nebylo stanoveno. Na ÚDV proto není technologie pro snížení obsahu síranů.

Z výsledků měření kvality vod na ÚDV se ale dá vysledovat jistá závislost poklesu koncentrace síranů při procesu odželeznění a odmanganování důlních vod.



Podklady, technické a technologické údaje o úpravě vody byly použity z projektové dokumentace pro rekonstrukci ÚDV a odborných zpráv. Jedná se o tyto podklady:

- BOHEMIAPLAN, spol. s r. o.: *Odstraňování manganu z důlních vod vypouštěných z ÚDV*, Plzeň, 2005
- PÍŠA, V.: *Posouzení účinnosti ÚDV a ČOV, provozovaných HUMECO, a.s., VÚHU Most*, arch. č. ŽPP-050/03, 2003





## 4 Řešení výzkumu

Předmětem diplomové práce je výzkum flokulačních činidel při technologickém procesu srážení koloidních částic v upravené vodě v sedimentačních nádržích na Úpravně důlních vod ČSA-JŠ (dále jen ÚDV). Posoudit a stanovit na základě zkoušek, účinnost jednotlivých typů flokulantů.

Druhým úkolem diplomové práce je ověřit možnost odstraňování nálepů a nánosů kalů ulpělých na stěnách nádrží a technologického zařízení. Proto bylo ověřováno použití dispergačního činidla aplikovaného na připravených vzorcích nálepů na materiálech vyskytujících se v reálném provozu úpravný.

### 4.1 Řešení výzkumu flokulantů

#### 4.1.1 Problematika čiření vody

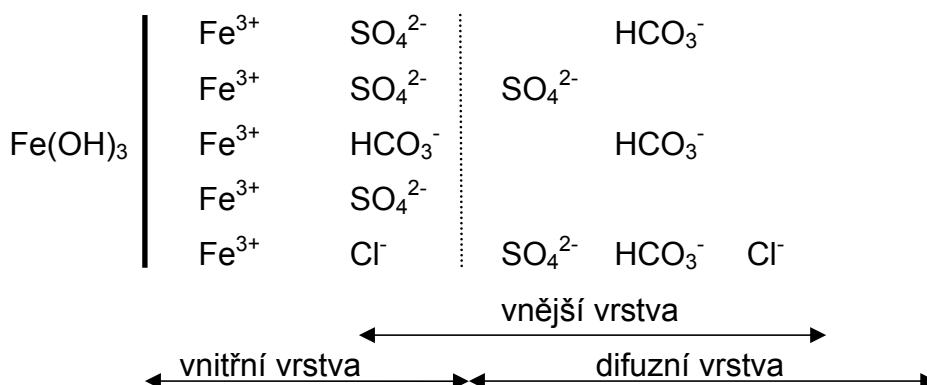
Hrubé disperzní částice v důlní vodě, čerpané na ÚDV, sedimentují v kalových polích a rozsáhlých sedimentačně-vyrovňovacích nádržích. Vody přiváděné k vlastní chemicko-mechanické úpravě na technologii úpravný obsahují převážně: *koloidní částice a rozpuštěné anorganické soli*.

Z nerozpustných látek se jedná o koloidní jílové částice. Rozhodující rozpuštěné látky ve vodě, se chemickou reakcí převádějí do nerozpustné formy. Na podmínkách vzniku koloidního solu závisí náboj koloidní částice. U vod z lomů J. Šverma a ČSA se jedná o hydrolyzou vzniklé trojmocné hydroxidy železa a manganu.

Na povrchu koloidních částic se sorbují ionty  $\text{Fe}^{3+}$  případně  $\text{Mn}^{3+}$  a udělují těmto částicím kladný elektrický náboj, který brání jejich spojení, tj. agregaci (stejně nabitě částice se odpuzují). Tato vrstva iontů, v micle nazývaná *vnitřní*, přitahuje elektrostatickými silami z roztoku částice nabitě opačnými náboji, které vytvářejí *vnější* vrstvu (u důlní vody např. ionty  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Obě tyto vrstvy ulpívají na koloidní částici poměrně pevně a s ní se pohybují. Ionty z vnější vrstvy nejsou tak pevně k částici vázány a pohybují se s kapalinou. Tato část vnější vrstvy se

nazývá *difuzní* vrstvou. Mezi povrchem částice a roztokem vzniká elektrický potenciál.

Schematické znázornění elektrické dvojvrstvy dává následující obrázek (převzato z literatury MALÝ, J.; MALÁ, J.: *Chemie a technologie vody*, NOEL s.r.o., 1996).



Obr. 22 Schematické znázornění elektrické dvojvrstvy

Na konci úpravárenského procesu tak vzniká disperzní roztok, u kterého je nezbytné snížit obsah disperzních látek. Voda zde obsahuje zejména koloidní jílové částice, dispergované částice železa a manganu a produkty reakce po alkalizaci vody.

Úkolem úpravy vody v této fázi je proto agregovat (shlukovat) částice do hrubé disperze. Během tohoto procesu nazývaného koagulace, koagulované částice na svém povrchu sorbují nebo chemicky zachycují látky obsažené ve vodě, zejména částice koloidních rozměrů a i větší. Rovněž zachycují i některé látky rozpuštěné.

Proces zbavení vody agregovaných suspendovaných částí se nazývá čiřením. V praxi, ale mnohdy i v literatuře se oba procesy zkráceně nazývají jedním z obou názvů.

Pro čištění vody je důležité přivést koloidní disperzi hydrolyzovaného koagulátu k agregaci do větších částic, které lze oddělit od vody sedimentací nebo filtrací. Tento proces je podmíněn destabilizací koloidních disperze.

Následující výzkum se zaměřil na destabilizaci pomocí hydrofilních koloidů. Hydrofilní koloidy jsou tvořeny makromolekulami vláknitých případně síťovitých



struktur, obklopených molekulami vody. Aby byla molekula polymeru účinným destabilizátorem, musí obsahovat chemické skupiny, schopné interakce s určitými místy povrchu částice solu. Při kontaktu se částice solu sorbují na polymer. Dávkování polymeru je velmi významné! Předávkování polymeru má naopak nestabilizující účinek na disperzi. Vysvětluje se to vytvořením ochranného obalu z polymeru kolem částic solu, který potom brání další spojování těchto částic.

#### 4.1.2 Stanovení metodiky zkoušek flokulačních činidel

Vzhledem k variabilitě parametrů vstupní vody, jsou i koncentrace nerozpustných látek a další stavové podmínky ve vodě v sedimentační nádrži, rozdílné v čase. Bylo proto nutné posoudit vstupní parametry a působnost fyzikálně chemických procesů při úpravě vody. Vycházejí z této situace potom zvážit a stanovit počet a kvalitativní parametry vzorků vody vzatých pro výzkum.

Vycházel jsem z rozmezí koncentrací znečišťujících látek ve vodě sedimentační nádrže v návaznosti na vstupní parametry důlní vody. V zásadě nastávají technologické a chemicko-fyzikální situace:

- *teplota vody*, důležitá pro průběh reakcí, byla stanovena pro zkoušky ve dvou hodnotách. Jednak 8°C jakožto parametr jarních a podzimních měsíců. Druhá teplota charakterizující stav letních měsíců byla stanovena na 20°C.
- u *acidity* bylo vycházeno z rozhraní pH 6, jakožto spodní meze dané zákonem (alkalita uhelné vody nepřichází v úvahu). U vzorků byla proto posuzována nutnost alkalizovat vodu roztokem vápenného hydrátu či nikoliv dle pH a dále dle koncentrací Fe a Mn.
- koncentrace jednotlivých *znečišťujících látek* (NL, Fe, Mn) ve vztahu k normě a tudíž nutnosti další fyzikálně-chemické reakce (oxidace, flokulace).



Od výše uvedených zásad byla stanovena metodika prováděných zkoušek:

- A. **Nerozpustné látky** (dále jen NL) **> 40 mg/l**, tj. než povoluje norma; Fe a Mn v normě

Tento stav nastává v době zvýšených přítoků vody do lomu v době dešťů. Voda nestačí plně reagovat s horninami a minerály (pyrit, markazit). Obsahuje tudíž unášená klastika a stržené jílové minerály.

Zkoušky byly provedeny pro stav:

- NL = 60 mg/l ve vstupní vodě a při:
  - pH > 6 a teplotách 8°C a 20°C
  - pH < 6 a teplotách 8°C a 20°C
- NL = 120 mg/l ve vstupní vodě a při:
  - pH > 6 a teplotách 8°C a 20°C
  - pH < 6 a teplotách 8°C a 20°C

- B. **Fe > 3 mg/l**, tj. než povoluje norma; NL a Mn v normě

Tento stav nastává většinou, když je delší dobu sucho a voda v lomu má čas absorbovat látky z okolí. Za této situace je většinou i pH menší než povolených 6.

Zkoušky byly provedeny pro stav:

- Fe = 3 a 3,5 mg/l ve vstupní vodě a při:
  - NL = 40 mg/l
  - pH = 5 a teplotách 8°C a 20°C

- C. **NL i Fe >** než povoluje norma; Mn v normě, tj. < 1mg/l

Zkoušky byly provedeny pro stav:

- Fe = 3 a 3,5 mg/l a NL = 60 a 120 mg/l ve vstupní vodě a při:
  - pH = 5 a teplotách 8°C a 20°C

- D. **NL, Mn i Fe >** všechny hodnoty větší než povoluje norma

Jedná se zejména o vody pocházející ze starých důlních děl, které po nafárání řezem vytečou do lomu.

Zkoušky byly provedeny pro stav:

- Fe = 3 a 3,5 mg/l a NL = 60 a 120 mg/l a Mn = 1,5 mg/l ve vstupní vodě a při:
  - pH = 5 a teplotách 8°C a 20°C

Veškeré naměřené a zjištěné hodnoty ve zkoumaných vzorcích vody jsou zaznamenány v tabulkách a grafech, obsažených v následující kapitole č. 5. Zde je provedeno i srovnání výsledků a dokumentace hodnot.

## 4.2 Řešení výzkumu dispergačních činidel

Důlní voda, zejména z lomu ČSA je acidní. K neutralizaci vody a hlavně pro zdárný průběh chemické reakce pro oxidaci dvojmocného železa a manganu, je nezbytné vytvořit silně alkalické prostředí. Na počátku technologického procesu úpravy vody je voda alkalizována roztokem vápenného hydrátu na hodnoty pH 9,0 až 9,2. Vysoký obsah vápníku vodě se následně promítá i do charakteru vzniklého kalu na konci procesu úpravy. Důsledkem je velká přilnavost kalů ke stěnám nádrží a technologickému zařízení. Při čištění nádrží a zařízení dojde k vypuštění vody a částečnému vyschnutí kalu, což jen zvýší jeho přilnavost.

Ukázku nálepů kalů na stěnách propojovacích kanálů podávají následující obrázky:



Obr. 23 Nálepy kalu v propojovacím kanálu



Obr. 24 Nálepy kalu v nádrži



Pro výzkum a stanovení vzorků pro zkoušky s dispergačním činidlem bylo vycházeno ze situací nastalých na ÚDV. Zde přicházejí v úvahu tyto situace:

- betonové stěny nádrží; jde o častou situaci u celé soustavy nádrží na ÚDV. Zejména u sedimentačních a aeračních nádrží a zahušťovací nádoby
- kovové stěny technologického zařízení
- textilní plachetky kalolisů; po určité době jsou plachetky tak „zaneseny“, že nepomáhá proplach vodou a musí se vyměnit. Jakékoliv vyčištění s prodloužením životnosti plachetek by mělo velký ekonomický přínos

Od výše uvedených zásad byla stanovena metodika prováděných zkoušek:

- A. Na betonovou dlaždici byl nanesen kal ze sedimentační nádrže ve vrstvě 2 cm. Po zaschnutí byly provedeny zkoušky:
  - Na vzorek se působilo proudem vody. Bylo zaznamenáno snížení tloušťky vrstvy na desce a plošného rozsahu.
  - Na vzorek byl proveden postřik dispergačního činidla. Ponechala se doba jeho působení 1 a 2 hodiny. Potom byl vzorek vystaven proudu vody a bylo zaznamenáno snížení tloušťky vrstvy na desce a plošného rozsahu.
- B. Na železný plech byl nanesen kal ze sedimentační nádrže ve vrstvě 2 cm a po jeho zaschnutí byly provedeny následující zkoušky:
  - Na vzorek se působilo proudem vody. Bylo zaznamenáno snížení tloušťky vrstvy na desce a plošného rozsahu.
  - Na vzorek byl proveden postřik dispergačního činidla. Ponechala se doba jeho působení 1 a 2 hodiny. Potom byl vzorek vystaven proudu vody a bylo zaznamenáno snížení tloušťky vrstvy na desce a plošného rozsahu.
- C. Z vyřazené zanesené plachetky byl vyříznut pruh na kterém byly provedeny zkouška s dispergačními činidly:
  - Na vzorek se působilo proudem vody. Bylo zaznamenáno snížení tloušťky vrstvy na desce a plošného rozsahu.



- Na vzorek byl proveden postřik dispergačního činidla. Ponechala se doba jeho působení 1 a 2 hodiny. Potom byl vzorek vystaven proudu vody a bylo zaznamenáno snížení tloušťky vrstvy na desce a plošného rozsahu.

Veškeré naměřené a zjištěné hodnoty ve zkoumaných vzorcích vody jsou zaznamenány v tabulkách a grafech, obsažených v následující kapitole č. 5. Zde je provedeno i srovnání výsledků a dokumentace hodnot.



## 5 Výsledky výzkumu

### 5.1 Výzkum flokulačních činidel

Odběr a výzkum s prováděnou analýzou jednotlivých vzorků byly provedeny dle zvolených kritérií, jak byly uvedeny v předcházející kapitole.

#### ***Popis zkoušek***

Do Imhoffova kužele se nalil objem 1000 ml zkoušeného vzorku. Z počátku se sledoval vznik časového rozhraní a dále rychlost sedimentace od rysky 1000 ml do 500 ml. Podle typu zkoušky se postupně přidávaly činidla pro úpravu vody. Při každém stupni zkoušky bylo provedeno provzdušnění vzorku vody (imitace jemnobublinné aerace).

Po provedení počátečních zkoušek byly přidány postupně flokulanty 1, 2, 3, kdy se sledovalo časové rozhraní, rychlost sedimentace, konečný objem sedimentu a kvalita vloček.

Koncentrace flokulantů byla vyšší, jelikož při reálné koncentraci, která se používá v provozním měřítku, nebylo možné rozeznat postup analýzy. Při této skutečnosti se přistoupilo k dávkování většího množství flokulačních činidel, aby bylo možné odhadovat hodnoty rychlosti a objemů sedimentace. Pro objektivní sledování účinnosti flokulantů se nelišila dávka. Dávka flokulantů se určila podle začátku tvorby vloček.

Co se týče rozdělení vzorků podle temperance teploty, bohužel v laboratorních podmínkách nelze určit rozdíl. Než proběhly všechny stupně pokusu, měla voda teplotu laboratoře a nebyly vidět rozdíly. V provozních podmínkách mají klimatické rozdíly obrovský vliv, ale toto se v laboratoři uskutečnit nedá.

#### ***Příprava zkoušených objemů vzorků***

V počátečním vzorku byly vždy určeny hodnoty, které se sledovaly dále. Byly to nerozpuštěné látky, mangan, železo a konduktivita. Vzorky o stejné koncentraci



byly vždy rozděleny na dva díly, kdy jeden měl pH cca 7,5 a druhý podíl se okyselil na pH cca 4,5. Každý z těchto dvou podílů byl opět rozdělen na dva stejné, kdy jeden se temperoval na hodnotu 20°C a druhý na cca 8°C. Potom se tyto podíly sledovaly bez přidání činidel a následně po jejich přidání. Činidla byla  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pro úpravu pH a průběh chemické reakce k oxidaci  $\text{Fe}^{++}$ . Aplikace  $\text{KMnO}_4$  byla použita pro oxidaci  $\text{Mn}^{++}$  a flokulanty pro vyvločkování a sedimentaci nerozpuštěných látek.

Po přidavku všech činidel se znova odebraly vzorky pro konečné stanovení Fe, Mn, NL a konduktivity. Vše se postupně zapisovalo včetně poznatků ze zkoušek. Imhoffův kužel se provzdušňoval. Pouze při stanovení objemového sedimentu se čekalo 30 min bez provzdušnění.

#### 5.1.1 Výsledky zkoušky č. 1 – NL > 40mg/l, Fe < 3mg/l, Mn < 1mg/l

Výzkum při zkoušce č. 1 probíhal se vzorky vody, kde NL byly nad normou, železo i mangan pod limitem ve vstupní vodě do technologie.

Jak již bylo předesláno, byl vzorek vody připraven s obsahem nerozpustných látek 64 mg/l tj. mírně nad zákonný limit (40 mg/l). Následně byl vzorek upraven na podstatně vyšší hodnotu: 153 mg/l.

##### Postup výzkumu se vzorkem o obsahu NL = 64 mg/l:

Do Imhoffova kužele byl převeden objem 1000 ml zkoušeného vzorku po rysku. V počátku se sledovalo časové rozhraní a rychlost sedimentace. Následně byly přidány flokulanty č. 1 až 3 obchodních názvů: *PRAESTOL 851 BC* od firmy ASHLAND CZ (pracovně



Obr. 25 Výzkum vzorku

v tabulkách označen jako flokulant č. 1), *MAGNAFLOC 919* od firmy CIBA (označen č. 2) a třetí flokulant od téže firmy s obchodním označením *MAGNAFLOC 333* (označen č. 3).

Celá série zkoušek s uvedenými vstupními hodnotami byla pracovně označena „Zkouška č. 1“. Zjištěné výsledky jsou zaznamenány v tabulkách označených jako přílohy číslo 1.0 až 1.3, které jsou přiloženy k této diplomové práci.

### **Komentář k zjištěným výsledkům:**

Bez přidání činidel nebylo u těchto vzorků vůbec zjiitelné rozhraní oddělovaných suspendujících částic a vody. Koloidní části byly rozptýlené po celém objemu.

Po přidavku flokulačního činidla č. 1 byla vidět počáteční rychlost sedimentace a bylo již možné stanovit objemový sediment. Objemový sediment byl celistvý, vločky „těžké“, které snadno dosazovaly na dno kužele.

Po zkoušce s dalšími druhy flokulantů neproběhl žádná flokulační reakce. Nebylo patrné žádné rozhraní. Flokulant č. 2 netvořil vločky, flokulant č. 3 tvořil malé, špatně rozlišitelné vločky, tudíž se nedala stanovit rychlost ani rozhraní. V obou případech zůstaly vločky na stěnách, byly roztříštěné, netvořily shluky a špatně sedimentovaly.

V případě přidavku flokulantu č. 1 byla voda z vrchní části viditelně čistější, až čirá. Z výsledků stanovených po přidání flokulantu 1 bylo patrné, že NL byly odstraněny. Při sledování zbývajících flokulantů byla voda na vrchu kužele kalná a byly patrné koloidní látky ve vznosu.

### **Postup výzkumu se vzorkem o obsahu NL = 153 mg/l:**

V případě vzorku o stejném charakteru, pouze vyšších NL se charakter zkoušky změnil. U všech flokulantů byla stanovitelná rychlost sedimentace a objemový sediment. Nejlepší čistící vlastnosti měl ale flokulant č. 1. Dále se projevil účinně flokulant č. 3, ale voda na vrchu kužele nebyla čirá. Vločky byly z menší části na stěnách kužele.



Obr. 26 Vzorek s flokulantem č. 1



Co se týče rozborů zůstatkového znečištění, po všech flokulantech byla hodnota NL zanedbatelná v porovnání se vstupními hodnotami. Při stanovení Mn nebyly rozborů nijak odlišné, při stanovení Fe bylo viditelné zlepšení po přidavku  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a oxidaci.

Zjištěné výsledky jsou zaznamenány v tabulkách označené „Zkouška č. 1“, která je uvedeny v přílohách č. 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 diplomové práce.

### **5.1.2 Výsledky zkoušky č. 2 – Fe > 3mg/l, NL < 40mg/l, Mn < 1mg/l**

Výzkum při zkoušce č. 2 probíhal se vzorky vody, kde železo bylo nad normou, NL i mangan pod limitem ve vstupní vodě do technologie.

Jak již bylo předesláno, byl vzorek vody připraven s obsahem železa 3,59 mg/l tj. mírně nad zákonný limit (3 mg/l). Následně byl vzorek upraven na podstatně vyšší hodnotu: 5,06 mg/l.

#### **Postup výzkumu se vzorkem o obsahu Fe = 3,59 mg/l:**

Tato zkouška se v počátku, bez přidavků flokulantů nedala určovat. Rychlost nebyla čitelná, na dně nevznikal sediment. Voda byla stále zakalená a měla nádech oranžové barvy, což bylo vlivem vysokého obsahu rozpuštěných želez. Po přidání  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , provzdušnění a přidavku flokulantu č. 1 patrný nárůst vloček, ne dobře viditelných, ale relativně sedimentujících, které se nedržely na stěnách kužele. V případě přidavku ostatních flokulantů se nestalo nic. Patrně s vodou tohoto charakteru vůbec nereagovali.

#### **Postup výzkumu se vzorkem o obsahu Fe = 5,06 mg/l:**

Zkoušený vzorek bez přidání činidel se choval totožně, jako vzorek s nižší koncentrací železa. Flokulanty č. 2 a 3 opět nereagovali. Flokulant č. 1 při pH 7,5 se choval stejně jako ve zkoušce s nižší koncentrací rozpuštěného Fe. V případě přidavku vápna se dala určit rychlost sedimentace. Tvorba vloček byla patrná od počátku zkoušky, byla lepší viditelnost vloček a voda na konci pokusu byla čirá.

Při stanovení koncentrace Fe po přidání činidel byly hodnoty nižší než na vstupu, z čehož se dá odvodit, že na odstranění železa z vody v laboratorních podmínkách působí oxidace, přidání vápna i přidavek flokulantu. V případě



zvýšení hodnoty pH přidáním  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bylo viditelné okamžité odstraňování Fe, které následně s použitím flokulantu č. 1 klesalo ke dnu kužele. Hodnoty NL a Mn byly skoro stejné.

Zjištěné výsledky, jak pro koncentrace Fe = 3,59 mg/l, tak i Fe = 5,06 mg/l jsou zaznamenány v tabulkách označených „Zkouška č. 2“, které jsou uvedeny v přílohách č. 2.0, 2.1, 2.2., 2.3 diplomové práce.

### 5.1.3 Výsledky zkoušky č. 3 – Fe > 3mg/l, Mn > 1 mg/l, NL < 40mg/l

Výzkum při zkoušce č. 3 probíhal se vzorky vody, kde železo i mangan byly nad normou. Naopak nerozpustné látky byly pod limitem ve vstupní vodě do technologie.

#### Postup výzkumu:

Vzorek vody byl připraven s obsahem **železa 3,94 mg/l a mangan 1,151mg/l**.

Při této zkoušce se do objemu vzorku dávkovala činidla  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KMnO}_4$  a flokulační činidla 1, 2, 3. Celá zkouška byla hodnocena jako úspěšná z hlediska viditelnosti sledování. V rámci rychlosti průběhu reakce oxidace Mn a tím jeho vysrážení z vody, bylo použito větší množství vápna. Vzorek se upravoval na hodnotu pH 9,2. Bohužel se ale ukázalo, že v laboratorních podmínkách se nedá odstraňovat ze zkoušených vzorků mangan rozpuštěný ve vodě. Ačkoli byl přírůstek manganistanu draselného minimální v přepočtu konstanty pro množství rozpuštěného manganu, bylo patrné, že je dán přebytek, což způsobilo ještě větší koncentraci Mn ve zkoušené vodě. Ke každému vzorku se postupně přidalo vápno na hodnotu pH = 9,2 a manganistan draselný, přičemž se celou dobu provzdušňovalo. I bez přírůvku flokulantů bylo vidět rozhraní „vyčištěné vody“. V případě přidání flokulantu č. 1 nebylo rozeznat časové rozhraní. Byla rovněž patrná i rychlost sedimentace a následně hodnota objemového sedimentu. Flokulant č. 2 se choval podobně jako č. 1 s tím rozdílem, že doba rychlosti sedimentace byla asi dvojnásobná. Flokulant č. 3 se proti ostatním dvou jevil jako nejúčinnější, doba rychlosti sedimentace byla vynikající, vločky se vytvořily okamžitě a byly kvalitní, ohraničení a dobře sedaly. Další anomálie po přírůvku



flokulantů č. 2 a 3 byla, že část vytvořených vloček byla lehká a vystoupala po chvíli na hladinu.

**Postup výzkumu se vzorkem o obsahu  $\text{Fe} = 5,24 \text{ mg/l}$  a  $\text{Mn} = 3,504 \text{ mg/l}$ :**

Tento pokus se choval stejně jako při nižší koncentraci. Rozdíl byl pouze v počátku zkoušky u hodnoty pH 7,5 bez přidání činidel, kdy voda byla velice zakalená, a nedalo se nic rozlišit. Po přidání všech flokulantů byla patrná správnost pokusu, jelikož se hodnoty sedimentů cca zdvojnásobily. Nejasné se v této zkoušce zdála rychlost sedimentace. V případě vzorků s nižší koncentrací se hodnoty změnily. Další nesrozumitelnost nastala v hodnotách objemového sedimentu. Zatímco u sledování nižší koncentrace u flokulantu č.3 bylo možné odečíst hodnotu usazeného sedimentu, u vysokých koncentrací nikoli. V případě flokulantu č. 1 a 2 byly hodnoty sedimentu dvojnásobné, což se dalo předpokládat.

Míra znečištění po sledování byla u Mn stále výrazně vysoká nebo i vyšší vlivem přídatku manganistanu, ale pouze v případě flokulantu č. 1. U zbylých se podstatně snížil. Železo odstraněno skoro dokonale. Zde je nutno si všimnout odstranění Mn z vody v případě flokulantu č. 2 a 3.

Zjištěné výsledky, jak pro koncentrace  $\text{Fe} = 5,24 \text{ mg/l}$ , tak i  $\text{Mn} = 3,504 \text{ mg/l}$  jsou zaznamenány v tabulkách označených „Zkouška č. 3“, které jsou uvedeny v přílohách č. 3.0, 3.1, 3.2, 3.3 diplomové práce.

**5.1.4 Výsledky zkoušky č. 4 –  $\text{NL} > 40 \text{ mg/l}$ ,  $\text{Fe} > 3 \text{ mg/l}$ ,  $\text{Mn} > 1 \text{ mg/l}$**

Výzkum při zkoušce č. 4 probíhal se vzorky vody, kde všechny sledované látky byly ve vstupní vodě do technologie nad normou.

Vzorek vody připraven s obsahem nerozpustných látek ve dvou úrovních. Železo v obou případech bylo značně nad povolenou hranicí, avšak téměř shodné. U manganu byl v druhém případě obsah extrémně vysoký, 4,6 mg/l.

**Postup výzkumu se vzorkem o  $\text{NL} = 78 \text{ mg/l}$ ,  $\text{Fe} = 5,61 \text{ mg/l}$  a  $\text{Mn} = 3,146 \text{ mg/l}$ :**

Tato zkouška byla hodnocena jako nejlépe viditelná. Do počátečních vzorků byla postupně přidávána všechna činidla. Viditelnost před přidáním flokulantů



nebyla dokonalá, ale vločky se tvořily, což je patrné na hodnotách objemových sedimentů. Po přidání flokulantu č. 1 se vytvořilo po čase rozhraní čisté vody a sedimentu. Vločky se zdály kvalitní a těžké. Při použití flokulantu č. 2 nešlo dokonale odhadnout přesnost rychlosti sedimentace, jelikož se některé vločky shlukovaly na stěnách kužele a nesedimentovaly dolů. Po pohnutí s válcem se vločky chovaly, jakoby ztratily kontakt se stěnou a padaly dolů. Voda po sedimentaci zůstala drobně zakalená, ale tento flokulant měl podobné chování jako č. 1. U flokulantu č. 3 byla potřeba v tomto případě delší doba oxidace, kdy po první části zůstala voda kalná. Po delším působení vzduchu se začaly tvořit kvalitní vločky a sedimentovaly dolů.

**Postup výzkumu se vzorkem o  $NL = 120 \text{ mg/l}$ ,  $Fe = 5,93 \text{ mg/l}$  a  $Mn = 4,6 \text{ mg/l}$ :**

Tato zkouška vypadala stejně jako s nižší koncentrací jen s tím rozdílem, že hodnoty rychlosti sedimentace se zkracovaly a sediment zvyšoval.

Rozbory ukázaly, že přidáním činidel se železo rozpuštěné ve vodě ztrácí a voda je vyčištěná. Nerozpuštěné látky též mají minimální hodnotu a voda je „čistá“. Hodnoty manganu však u flokulantu č. 1 jsou stejně nebo vyšší a laboratorně se nedá určit účinnost. V případě manganu u flokulantů č. 2 a 3 je podstatně snížena.

Zjištěné výsledky pro obě uvedené koncentrace vzorků jsou zaznamenány v tabulkách označených „Zkouška č. 4“, které jsou uvedeny v příloze č. 4.0, 4.1, 4.2, 4.3 diplomové práce.

## 5.2 Výzkum dispergačních činidel

Pro výzkum možnosti odstraňování nalepených kalů na materiálech vodárenské technologie, byl použit kal ze zahušťovací nádoby na ÚDV. Kal s plastickou konzistencí byl nanesen na připravené desky z materiálu vyskytujících se v technologii ÚDV. Jednalo se o betonovou desku rozměrů 40x40x40 cm. Shodných rozměrů byly i desky z železného plechu a vystřižená textilie z plachetek kalolisu. Nanesena byla vrstva kalu o výšce 2 cm.



Takto připravené vzorky byly rozděleny na dvě skupiny. Prvá skupina byla zavěšena na konstrukci ve venkovním prostoru o teplotě vzduchu 9°C. Vzorky se nechaly týden vysychat.

Druhá skupina vzorků byla umístěna do haly technologie s teplotou vzduchu 18°C. Opět se tyto vzorky ponechaly vysychat týden.

Následně byl na polovinu vzorků z každé skupiny aplikován postřik dispergačním činidlem. Po konzultacích s firmami obchodujícími s koaguláty a flokulanty, byl pro náš typ jílovitých kalů zvolen roztok dispergačního činidla s obchodním názvem *POLYSTABIL* od firmy ASHLAND CZ. Koncentrace roztoku byla 1 %. Disperzní roztok se nechal působit na vzorky po dobu 2 hodin.

Druhá polovina kontrolních vzorků byla ponechána bez aplikace činidla.

#### **Postup při výzkumu:**

##### ***Vzorky bez použití dispergátoru při teplotě vzduchu 9°C***

Vlastní výzkum započal postřikem proudu vody z hadičky na vzorky vody. Intenzita proudu odpovídala dosud používané metodě mechanicko-hydraulického odstraňování nálepů se stěn technologie pomocí proudu vody. Působení proudu vody bylo po dobu 1 minuty. Tato doba byla zvolena s ohledem na skutečné působení proudu vody v nádržích na určité jejich místo.

#### **Výsledky výzkumu:**

Vrstva kalu na materiálu byla opticky na povrchu zvrásněna a byl poznatelný úbytek zejména na okrajích.

Po provedeném měření lze konstatovat, že úbytek kalu nebyl výrazný jak co do plošného rozsahu, tak ani z pohledu tloušťky kalu. Větší rozdíly byly zaznamenány pro jednotlivé podkladové materiály. Největší snos kalu byl zaznamenán na železné desce a nejmenší na textilií.

Měření zaznamenalo úbytek:

Železo	30% plochy	20% tloušťky
Beton	15% plochy	10% tloušťky
Textil	5% plochy	10% tloušťky





### ***Vzorky bez použití dispergátoru při teplotě vzduchu 18°C***

Způsob postřiku vzorků proudem vody z hadičky byl shodný s předchozím. Rovněž doba působení proudu vody byla 1 minuta.

#### **Výsledky výzkumu:**

Vrstva kalu byla vodou narušena jak na povrchu, tak zejména na okrajích.

Provedené měření ukázalo úbytek kalu jak co do plošného rozsahu, tak ani z pohledu tloušťky kalu.

Měření zaznamenalo úbytek:

Železo	30% plochy	30% tloušťky
Beton	25% plochy	30% tloušťky
Textil	10% plochy	10% tloušťky

### ***Vzorky s aplikací dispergátoru při teplotě vzduchu 9°C***

Na vzorky ze skupiny umístěných ve venkovním prostoru, určených k výzkumu disperze, byl aplikován postřik Polystabilem. Roztok dispergačního činidla se nechal působit na vzorek 2 hodiny. Následovalo ostříkaní vzorků vodou z hadičky. Intenzita a doba působení vody byla shodná pro všechny zkoušky.

#### **Výsledky výzkumu:**

Vrstva kalu nebyla po aplikaci dispergačního činidla výrazněji narušena. Po působení proudu vody však bylo znatelné narušení povrchu i okrajů vrstvy kalu.

Měření zaznamenalo úbytek:

Železo	40% plochy	40% tloušťky
Beton	25% plochy	20% tloušťky
Textil	15% plochy	20% tloušťky

### ***Vzorky s aplikací disperzního roztoku při teplotě vzduchu 18°C***

Na vzorky ze skupiny umístěných v temperované hale technologie, určených k výzkumu disperze, byl aplikován postřik Polystabilem. Roztok se nechal působit





na vzorek 2 hodiny. Následovalo ostříkaní vzorků vodou z hadičky. Intenzita a doba působení vody byla shodná pro všechny zkoušky.

### **Výsledky výzkumu:**

Měření zaznamenalo úbytek:

Železo	50% plochy	40% tloušťky
Beton	40% plochy	40% tloušťky
Textil	30% plochy	30% tloušťky

Z provedených měření a srovnání naměřených hodnot lze učinit poznatek, že aplikace dispergačního činidla na zaschlý kal má účinek. Z omezené doby a zvolené metody však nelze učinit dostatečně věrohodný závěr o dobré účinnosti a efektivnosti užití dispergátoru na odstraňování kalů za stěn vodohospodářských zařízení. Jedná se zejména o potřebu odzkoušení metody přímo na provozním zařízení (např. na sedimentační nádrži či zahušťovací nádobě). Jen tak bude možné poznat jak chemicko-technologickou stránku, tak i možnou ekonomickou náročnost.

## 6 Vyhodnocení a diskuse výsledků

### 6.1 Diskuse k výzkumu flokulantů

Analýza a hodnocení výsledků výzkumu a stanovení účinku flokulantu na rychlost a efektivitu sedimentace jsou dále diskutovány na základě výsledků zkoušek provedených v období měsíce března 2009. Pro objektivní závěry ze zjištěných výsledků, je období pouhých dvou týdnů naprosto nedostatečné. Za 14 dnů nebyl a ani nemohl být v reálném provozu, zastižen charakter vody na vstupu do technologie a hlavně po úpravě vody při nátoku do sedimentačních nádrží, jak bylo stanoveno pro potřeby výzkumu. Bylo proto nutné v mnoha případech simulovat provozní situaci a vzorky připravit pro zkoušky laboratorně.

Teplota vody pro průběh a rychlost reakce má podstatný vliv. Bohužel opět zde pro krátkost doby bylo nutné teplotu vody u vzorků laboratorně ošetřit. V laboratorních podmínkách však při simulaci technologických procesů (provzdušňování vzorku, dávkování chemikálií, sedimentaci), byl vzorek v místnosti laboratoře natolik dlouho, že u něho došlo k podstatné změně původní vstupní teploty. U tak malého objemu vody, docházelo k rychlému zvýšení teploty vody vzorku.

Naopak při míchání vzorků laboratorně bylo dosahováno mnohem účinnější homogenizace vzorků, než je obvyklé v reálných podmínkách.

Při hodnocení a analýze zjištěných výsledků, nesmíme proto zapomínat na výše uvedené skutečnosti. Přijímané závěry z výsledků zkoušek proto vycházejí již z korektur, které lze předpokládat v reálném provozu. Jedná se o tyto korekce oproti naměřeným hodnotám při zkouškách vzorků:

- Účinnost flokulantu při nízkých teplotách bude nižší než zjištěné výsledky. Ze vzestupu teploty vzorku v průběhu jeho zkoušky, lze usuzovat o přibližně 30% redukci zjištěných hodnot.



- Rovněž rychlost a hlavně účinnost chemických reakcí při simulované teplotě 8°C ve zkoumaném vzorku vody, budou ve skutečnosti pomalejší a s nižší účinností.
- Malý objem vzorku zkresluje možnost přesného zjišťování rychlosti *sedimentace nerozpustných látek*.

Analýzou výzkumem zjištěných hodnot, uvedených v 16. tabulkách, které tvoří přílohy č.1.0 až 4.3, lze vysledovat poznatky:

**Vstupní voda s NL nad normou, ostatní hodnoty v normě** (zkouška č. 1)

- Při zkouškách s přirozenou sedimentací prakticky nedocházelo k žádné sedimentaci kalu, ať již byly NL málo nad normou (v našem případě 64 mg/l), nebo byly vysoké (153 mg/l).
- Zcela jiná situace byla po přidání roztoku vápenného hydrátu. Nastal velmi zajímavý stav, že ve výstupní vodě byla koncentrace NL velice nízká!
- Přidáním flokulantu používaného v současné době na ÚDV pod obchodním označením *PRAESTOL 851 BC* od firmy ASHLAND CZ kal sedimentoval a na výstupu byly NL velmi nízké jak při nízké tak vyšší teplotě. Výrazně horší situace byla použitím flokulantu *MAGNAFLOC 919*. NL byly v pořádku, ale kvalita, množství vloček a rychlost sedimentace byly horší. Třetí flokulant *MAGNAFLOC 333* byl jen o málo lepší.

**Vstupní voda s Fe nad normou, ostatní hodnoty v normě** (zkouška č. 2)

- Jedině u extrémní hodnoty koncentrace železa 5,06 mg/l byl objemový sediment dvojnásobný u flokulantu *PRAESTOL 851 BC* proti všem ostatním flokulantům. Nerozpustné látky ve výstupní vodě měly vzájemně malý rozptyl.

**Vstupní voda s Fe a Mn nad normou, NL v normě** (zkouška č. 3)

- Dobrou reakci u vody s vysokým obsahem Fe a Mn vykázaly flokulanty *MAGNAFLOC 919* i *333* při vyšší teplotě. Objemový sediment byl 5 až 6 násobek vůči flokulantu *PRAESTOL 851 BC*.



### ***Vstupní voda s hodnotami nad normou u všech látek (zkouška č. 4)***

- Součinnost vysokých koncentrací NL, Fe a Mn se projevila radikálně na tvorbě kalu a množství objemového sedimentu. V tomto případě se osvědčil jako nejúčinnější flokulant *PRAESTOL 851 BC*, u něhož byl objemový sediment 2x až 10x větší než u dalších dvou ověřovaných flokulantů.

## **6.2 Diskuze k výzkumu dispergačního činidla**

Pro vymezený čas k provádění zkoušek se nepodařilo zajistit větší počet vhodných dispergačních činidel, což je dáno i jejich omezeným výběrem na trhu. Pro zkoušky bylo tak použito jediné dispergační činidlo, a to dispergátor *POLYSTABIL* firmy ASHLAND CZ, mj. dodavatele flokulantu *PRAESTOL 851 BC*, používaného na ÚDV.

V době provádění výzkumu této problematiky byl plný provoz ÚDV, a tak nebylo možné provést zkoušky přímo na provozní technologii a objektech (nádržích). Byl proto zvolen laboratorní výzkum. Problematika odstraňování nálepů je však svým charakterem bezprostředně vázána na dimenzi reálného prostředí. Jakkoliv pečlivě provedené a vyhodnocené zkoušky na připravených vzorcích nemohou nahradit provozní prostředí. K dosaženým výsledkům z výzkumu je proto nutné i přistupovat s výše uvedenými výhradami.

Analýzou výsledků zkoušek jsem dospěl k názoru, že použitelnost dispergačních činidel pro odstraňování nálepů kalů z technologického zařízení, je sporná. Pro zásadnější stanovisko je nezbytné provést zkoušky přímo na technologickém zařízení.



## 7 Závěr

Charakter důlní vody je do značné míry nesrovnatelný s odpadními či povrchovými vodami. Nerozpustné látky jsou tvořeny především koloidními částicemi jílových minerálů. Přirozená sedimentace částic z roztoku je velmi pomalá. Pokud je přítomný i vysoký obsah Fe a Mn, potom při nízkých teplotách je sedimentace zanedbatelná.

Potvrzen byl poznatek, že zvýšením alkality vody, výrazně zlepšuje sedimentaci bez použití flokulantů.

Pro zajištění zákonem stanovených emisních limitů pro sledované NL > 40 mg/l, je vhodné použití flokulantů. Jejich aplikace však by neměla být trvalá. Zkoušky prokázaly, že by použití flokulantu mělo být vázáno na parametry vstupní vody a zejména i s ohledem na teplotu vody. Pro takový provoz, jakým je ÚDV, je nezbytný automatický systém řízení technologie. Jedná se o odběr vzorků vody a aplikaci  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{KMnO}_4$  a flokulantu.

Cíl výzkumu, posoudit vhodnost využití flokulantů pro sedimentaci koloidních částic v důlní vodě, byl splněn. Výzkum prokázal prospěšnost a účinnost flokulantů pro sedimentaci koloidních částic.

Přijmout závěry k použití dispergačních činidel pro odstraňování kalů ze stěn vodohospodářských technologických zařízení by bylo na základě uskutečněných zkoušek předčasné. Doporučuji provést reálné ověření na vypuštěné sedimentační nádrži ÚDV.



## Seznam použité literatury

- [1] FEČKO, P.: *Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů*, VŠB – TU Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-921-2
- [2] FEČKO, P.; PEČTOVÁ, I.; RIEDLOVÁ, S.; POKORNÁ, E.: *Selektivná flokulácia čiernouhelných kalov*, VŠB-TU Ostrava, 2001
- [3] HURNÍK, TRACHTULEC: *Báňsko-hydrogeologické podmínky přirozené izolace zbytkové jámy lomu ČSA*, VÚHU Most, 1994
- [4] JURMAN, J.; VRBICKÝ, J.: *Možnosti vzájemného porovnání rozpojitelosti při různých způsobech dispergace*, VŠB-TU Ostrava, 1994
- [5] KMEŤ, S.: *Flotácia*, Alfa Bratislava, 1992, ISBN 80-05-00971-2
- [6] Legislativa zákona č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)
- [7] Legislativa zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- [8] PITTER, P.: *Hydrochemie*, SNTL Praha, 1981
- [9] Plán otvírky, přípravy a dobývání lomu ČSA
- [10] Plán otvírky, přípravy a dobývání lomu Vršany – Šverma
- [11] Prospekty firem Ashland CZ Oy, organizační složka a Ciba Central Eastern Europe Ltd. org.složka
- [12] Provozní dokumentace HUMECO, a.s.



## Seznam obrázků

Obr. 1	Pyrit v uhlí lomu ČSA.....	5
Obr. 2	Konkrece $\text{FeS}_2$ .....	5
Obr. 3	Svah lomu s Krušnými horami .....	5
Obr. 4	Koryto Vesnického potoka .....	10
Obr. 5	ČS Kundratice.....	10
Obr. 6	Voda v uhelném příkopu .....	11
Obr. 7	Tvorba odvodňovacího příkopu .....	11
Obr. 8	Propojení kalových polí.....	13
Obr. 9	Kalová pole na ÚDV .....	13
Obr. 10	Vyrovňovací nádrže ÚDV.....	13
Obr. 11	Odběrný objekt vyrovňovací nádrže .....	13
Obr. 12	Míchací nádrže vápna.....	14
Obr. 13	Zásobníky vápna .....	14
Obr. 14	Aerační nádrž .....	15
Obr. 15	Flokulační stanice .....	15
Obr. 16	Kalolis .....	16
Obr. 17	Zahušťovací nádrž .....	16
Obr. 18	Dávkování $\text{KMnO}_4$ .....	17
Obr. 19	Automatický odběr vzorků.....	17
Obr. 20	Analýzátory Fe a Mn.....	17
Obr. 21	Vnitřní pohled na analyzátor Mn .....	17
Obr. 22	Schematické znázornění elektrické dvojvrstvy.....	20
Obr. 23	Nálepy kalu v propojovacím kanálu .....	23
Obr. 24	Nálepy kalu v nádrži .....	23
Obr. 25	Výzkum vzorku .....	27
Obr. 26	Vzorek s flokulantem č.1 .....	28





## Seznam tabulek

Tabulka 1	Koncentrace znečišťujících látek na vodních dílech lomů ČSA a JŠ.....	6
Tabulka 2	Koncentrace znečišťujících látek ve vodách z lomu ČSA v roce 2008 .....	8
Tabulka 3	Koncentrace znečišťujících látek ve vodách z lomu JŠ v roce 2008 .....	8



## Seznam příloh

Příloha č. 1	Schéma odvodňovacích zařízení v prostoru lomů JŠ a ČSA
Příloha č. 2	Schéma technologického zařízení ÚDV
Přílohy č. 1.0 – 1.3	Výzkum flokulačních činidel. Zkouška č. 1
Přílohy č. 2.0 – 2.3	Výzkum flokulačních činidel. Zkouška č. 2
Přílohy č. 3.0 – 3.3	Výzkum flokulačních činidel. Zkouška č. 3
Přílohy č. 4.0 – 4.3	Výzkum flokulačních činidel. Zkouška č. 4